



ADAMS & WILKS  
ATTORNEYS AND COUNSELORS AT LAW  
50 BROADWAY  
31st FLOOR  
NEW YORK, NEW YORK 10004

2121  
#5  
M.H.  
6-23-03

BRUCE L. ADAMS  
VAN C. WILKS

JOHN R. BENEFIEL  
PAUL R. HOFFMAN  
TAKESHI NISHIDA  
FRANCO S. DE LIGUORI

\* NOT ADMITTED IN NEW YORK  
\* REGISTERED PATENT AGENT



RECEIVED  
JUN 03 2003  
Technology Center 2100

RIGGS T. STEWART  
(1924-1993)

TELEPHONE  
(212) 809-3700

FACSIMILE  
(212) 809-3704

May 27, 2003

COMMISSIONER FOR PATENTS  
Washington, DC 20231

Re: Patent Application of Akira SHIMADA et al.  
Serial No. 10/027,362 Filing Date: December 26, 2001  
Examiner: Group Art Unit: 2121  
Docket No. S004-4517

S I R:

The above-identified application was filed claiming the right of priority based on the following foreign application(s).

1. Japanese Patent Appln. No. 2000-401397 filed December 28, 2000
2. Japanese Patent Appln. No. filed
3. Japanese Patent Appln. No. filed
4. Japanese Patent Appln. No. filed
5. Japanese Patent Appln. No. filed
6. Japanese Patent Appln. No. filed
7. Japanese Patent Appln. No. filed
8. Japanese Patent Appln. No. filed
9. Japanese Patent Appln. No. filed
10. Japanese Patent Appln. No. filed
11. Japanese Patent Appln. No. filed

Certified copy(s) are annexed hereto and it is requested that these document(s) be placed in the file and made of record.

MAILING CERTIFICATE

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first-class mail in an envelope addressed to: COMMISSIONER OF PATENTS & TRADEMARKS, Washington, DC 20231, on the date indicated below.

DEBRA BUONINCONTRI

Name

*Debra Buonincontri*  
Signature

May 27, 2003

Date

BLA: d.b  
Enclosures

Respectfully submitted,

ADAMS & WILKS  
Attorneys for Applicant(s)

By:

*Bruce L. Adams*  
Bruce L. Adams  
Reg. No. 25,386

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office

出願年月日  
Date of Application:

2000年12月28日

出願番号  
Application Number:

特願2000-401397

出願人  
Applicant(s):

セイコーインスツルメンツ株式会社

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

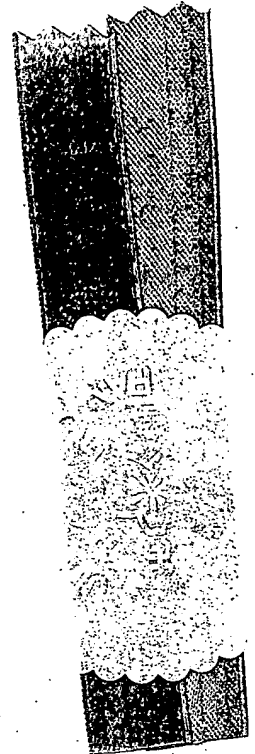
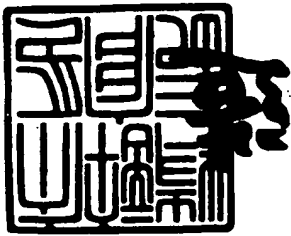
RECEIVED  
JUN 03 2003

Technology Center 2100

2001年 8月31日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕三



【書類名】 特許願

【整理番号】 00000650

【提出日】 平成12年12月28日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 B60H 1/00  
F04C 18/344

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県習志野市屋敷4丁目3番1号 セイコー精機株式会社内

【氏名】 島田 明

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市弥生町1-33 千葉大学工学部内

【氏名】 野波 健蔵

【特許出願人】

【識別番号】 000107996

【氏名又は名称】 セイコー精機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100105201

【弁理士】

【氏名又は名称】 椎名 正利

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 053154

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 外乱推定型制御システム、気体圧縮機制御システム及び外乱推定型制御システムの設計方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 制御対象と、

該制御対象に入力される入力信号及び該制御対象より検出された検出信号を基に前記制御対象の入力に加算される外乱を推定する外乱推定手段と、  
前記検出信号を補償し制御信号を出力する補償手段と、  
該制御信号に対し前記外乱推定手段で推定された外乱を減算し、減算結果を前記入力信号とする演算手段とを備えた外乱推定型制御システムであって、  
前記制御対象の状態方程式または伝達関数からなる数学モデル（ノミナルモデル）が実験に基づくシステム同定によって作成され、  
前記補償手段が該数学モデル（ノミナルモデル）から設計され、  
前記外乱推定手段が該数学モデル（ノミナルモデル）に対し外乱の考慮された数学モデル（拡大モデル）からなる拡大された状態方程式（拡大系）より作成されたことを特徴とする外乱推定型制御システム。

【請求項 2】 圧縮室内容積を変更可能な容量変更手段を有する可変容量型気体圧縮機と、

該容量変更手段に入力される入力信号と、  
室内空気温度、蒸発器出口空気温度、冷媒流量、気体圧縮機吸入側冷媒圧力等の内のいずれか少なくとも一つの情報が検出された検出信号と、  
該検出信号及び前記入力信号を基に前記可変容量型気体圧縮機の外乱を推定する外乱推定手段と、  
前記検出信号を補償し制御信号を出力する補償手段と、  
該制御信号に対し前記外乱推定手段で推定された外乱を減算し、減算結果を前記入力信号とする演算手段とを備えたことを特徴とする気体圧縮機制御システム。

【請求項 3】 制御対象と、

該制御対象に入力される入力信号及び該制御対象より検出された検出信号を基に前記制御対象の入力に加算される外乱を推定する外乱推定手段と、

前記検出信号を補償し制御信号を出力する補償手段と、  
 該制御信号に対し前記外乱推定手段で推定された外乱を減算し、減算結果を前記  
 入力信号とする演算手段とを備えた外乱推定型制御システムを設計する方法であ  
 って、  
 システム同定によって、状態方程式または伝達関数からなる前記制御対象の数学  
 モデル（ノミナルモデル）を作成し、  
 該数学モデルと外乱の数学モデルとからなる拡大された状態方程式（拡大系）を  
 作成し、  
 該状態方程式（拡大系）より前記外乱推定手段を設計し、  
 前記数学モデル（ノミナルモデル）から前記補償手段を設計することを特徴とす  
 る外乱推定型制御システムの設計方法。

【請求項 4】 前記状態方程式（拡大系）が可観測か否かを判定し、  
 不可観測と判定されるとき、該状態方程式（拡大系）の A 行列及び／又は C 行列  
 又は伝達関数分子の 0 次項に当たる係数に、強制的に 10% 以下の誤差を加え、該  
 誤差を含む拡大系を作成することによって可観測を成立させることを特徴とする  
 請求項 3 記載の外乱推定型制御システムの設計方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は外乱推定型制御システム、気体圧縮機制御システム及び外乱推定型制  
 御システムの設計方法に係わり、特に熱負荷変動や回転速度変化等のパラメータ  
 変動に不感な外乱推定型制御システム、気体圧縮機制御システム及び外乱推定型  
 制御システムの設計方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

カーエアコン用冷凍空調システムの容量制御は、蒸発器出口空気温度、または  
 室温を温度センサにより観測し、観測温度が予め設定した目標温度と一致するよ  
 うに、気体圧縮機容量を変化させるものである。

【0003】

或いは、気体圧縮機の冷媒吸入圧力が所望の圧力値になるように、気体圧縮機容量を変化させる。例えば、特許1746774号公報では空気温度情報と共に気体圧縮機の回転速度情報を用いて、容量制御を行っている。

#### 【0004】

図12に同空調システムの全体簡略構成図を示す。空調システムは、例えば車に搭載される。図12において、蒸発器51は、ファン52による送風を伴う熱交換器であり、車室内空気の冷却を行う。可変容量型気体圧縮機10に、蒸発器51内で気化された冷媒ガスが吸入され、加圧されて凝縮器53に送られる。

#### 【0005】

凝縮器53では、冷媒ガスが液化され、車室内より吸収した熱を車外へ放出するようになっている。膨張弁54は、冷媒ガスの圧力を高圧から低圧まで急激に低下させるようになっている。可変容量型気体圧縮機10の回転軸11は、エンジン59の軸動力がベルト63により伝えられ回転駆動されるようになっている。

#### 【0006】

図13に可変容量型気体圧縮機10の断面図、図14に可変容量型気体圧縮機10の図13中のA-A矢視線断面図を示す。

可変容量型気体圧縮機10の吸入口1は、外部に接続された蒸発器51より冷媒ガスを吸入するようになっている。

#### 【0007】

シリンダ3は、フロントヘッド5とリアサイドブロック7間に挟装されている。シリンダ3内にはロータ9が回転可能に配設されている。

#### 【0008】

ロータ9は回転軸11に貫通固定されている。ロータ9の外周には径方向にベーン溝13が形成され、ベーン溝13にはベーン15が摺動可能に装着されている。そして、ベーン15は、ロータ9の回転時には遠心力とベーン溝13底部の油圧とによりシリンダ3の内壁に付勢される。

#### 【0009】

シリンダ3内は、ロータ9、ベーン15、15・・・により複数の小室に仕切ら

れている。これらの小室は圧縮室 17、17・・・と称され、ロータ 9 の回転により容積の大小変化を繰り返す。

#### 【0010】

そして、このように、ロータ 9 が回転して圧縮室 17、17・・・の容積が変化すると、その容積変化により吸入口 1 より低圧冷媒ガスを吸気し圧縮する。シリンダ 3 及びリアサイドブロック 7 の周端部にはケース 19 が固定され、このケース 19 の内部には、吐出室 21 が形成されている。

#### 【0011】

圧縮室 17 で圧縮された高圧冷媒ガスは、吐出ポート 23、吐出弁 25 を介して吐出室 21 に送られる。そして、冷媒ガスは吐出室 21 から吐出口 27 を経て外部の凝縮器 53 へと送られる。

#### 【0012】

この可変容量型気体圧縮機 10 は容量可変機構 30 を備えている。この容量可変機構 30 は、車室内温度により冷媒ガスの吐出容量を可変調節可能なようになっている。容量可変機構 30 の一構成例を図 15 に示す。

#### 【0013】

制御板 29 は、フロントヘッド 5 内にシリンダ 3 の側部に面するように配設されている。制御板 29 には切り欠き 29a が 2 か所に施されている。この切り欠き 29a は、シリンダ 3 の内部と吸入口 1 に通じる吸入室 31 間を連通させる。一方、制御板 29 の切り欠きの無い部分、シリンダ 3 の内壁及びペーン 15 により閉鎖された空間には圧縮室 17 が形成される。

#### 【0014】

制御板 29 を右回転させれば切り欠き 29a が右方向に回転されたことにより、圧縮室 17 が形成される位置も右側に移動し、このときの圧縮室 17 の容量も小さくなる。このように、制御板 29 を回動させることで、吐出容量を調節可能である。

#### 【0015】

制御板 29 の回動は、ピン 33 を介して油圧駆動の駆動軸 39 により行われる。制御弁 37 を開度調節することでスリーブ 35 に吐出室 21 より油を注入し、

このときの油圧により駆動軸 3 9 を直進運動させる。そして、この直進運動をピン 3 3 を介して回転運動に変換して、制御板 2 9 を回転させる。

## 【 0 0 1 6 】

油の注入量は、制御弁 3 7 の開度を変更することで変えることが可能である。この開度の変更は、図 1 6 に示す容量制御指令値（デューティ比）を変えることで行っている。

## 【 0 0 1 7 】

制御板 2 9 は、スリーブ 3 5 内の制御圧力  $P_C$  と吸入室 3 1 内の圧力  $P_S$  の差圧に従いバネ 3 8 による弾性力との均衡のもとに回転される。

## 【 0 0 1 8 】

なお、図 1 2 において、例えば蒸発器 5 1 の出口の空気温度を検出するため、温度センサ 5 5 が配設されている。また、エンジン 5 9 の回転速度を検出するため、回転速度センサ 5 7 が配設されている。

## 【 0 0 1 9 】

そして、この温度センサ 5 5 の検出信号とエンジン 5 9 の回転速度を基に、制御回路 6 1 では容量制御指令値が算出される。この容量制御指令値は容量制御信号発生回路 6 5 で信号増幅された後、容量可変機構 3 0 の制御弁 3 7 に伝えられる。

## 【 0 0 2 0 】

次に、この容量可変機構 3 0 の制御方法について図 1 7 のフローチャートを基に説明する。

簡単のため、エンジン 5 9 の回転速度が上がった場合などの可変容量型気体圧縮機 1 0 の容量を小さくする場合を例に説明する。

## 【 0 0 2 1 】

今、蒸発器 5 1 の出口の目標温度 6 7 より、蒸発器 5 1 出口の検出温度が低くなった場合を想定する。この場合には、車室内の冷え過ぎを防止するため、冷房能力を低くする必要がある。

## 【 0 0 2 2 】

まず、ステップ 1（図中、S 1 と略す。以下、同様）で、目標温度と検出温度



との温度偏差に基づき可変容量型気体圧縮機 1 0 の目標冷媒流量を演算する。この際の演算は、P I D 制御等により行われる。次に、ステップ 3 では、この演算された目標冷媒流量から可変容量型気体圧縮機 1 0 の回転速度か、あるいはエンジン 5 9 の回転速度を考慮に入れて可変容量型気体圧縮機 1 0 の吐出容量を演算する。

#### 【0 0 2 3】

ステップ 5 では、この吐出容量から、図示しない吐出容量と容量制御指令値の関係を示す特性曲線を基に回転速度補正演算が行われ、制御弁 3 7 の開度を調節すべき容量制御指令値が決められる。このときの容量制御指令値は小さくなるよう指令される。その結果、ステップ 7 で平均電流は小さくなり、ステップ 9 で制御弁 3 7 の開度は小さくされる。

#### 【0 0 2 4】

このとき、ステップ 1 1 でスリーブ 3 5 内の制御圧力  $P_C$  は小さくなる。このため、ステップ 1 3 で駆動軸 3 9 は下方に移動され、ステップ 1 5 で制御板 2 9 は右回転する。その結果、ステップ 1 7 で可変容量型気体圧縮機 1 0 の吐出容量は小さくなり、冷房能力は小さくなる。

#### 【0 0 2 5】

また、同空調システムは上述の制御手法以外にも、熱負荷変動や動作条件の違いによって物理的な特性が異なり、しかも非線形性が強いために、複数の制御モードを用意して切り替えを行ったり、観測情報を基に、モデル変更を行い、それに応じて補償器のパラメータを変える手法などが使用されてきた（特許 2090676 号公報、特許 2086982 号公報）。

#### 【0 0 2 6】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特許 1746774 号公報による実施例は、回転速度センサを要することでセンサ数が増す。また、既設の回転速度センサを用いる場合でも、通信手段が増す欠点を有する。そこで回転速度情報なしでも同等以上の制御性能を実現する技術が必要であるが、従来はその実現が困難であった。

#### 【0 0 2 7】

一方、特許2090676号公報、特許2086982号公報の場合、複数の制御補償器を得ることは開発負荷の増加につながる。また、補償器変更はセンサの数が増えたり、開発負荷が増えること、補償器自身が複雑になることなどが問題点として生ずるため、実用に支障を来たすおそれがあった。

#### 【 0 0 2 8 】

本発明はこのような従来の課題に鑑みてなされたもので、熱負荷変動や回転速度変化等のパラメータ変動に不感な外乱推定型制御システム、気体圧縮機制御システム及び外乱推定型制御システムの設計方法を提供することを目的とする。

#### 【 0 0 2 9 】

##### 【課題を解決するための手段】

このため本発明は、制御対象と、該制御対象に入力される入力信号及び該制御対象より検出された検出信号を基に前記制御対象の入力に加算される外乱を推定する外乱推定手段と、前記検出信号を補償し制御信号を出力する補償手段と、該制御信号に対し前記外乱推定手段で推定された外乱を減算し、減算結果を前記入力信号とする演算手段とを備えた外乱推定型制御システムであって、前記制御対象の状態方程式または伝達関数からなる数学モデル（ノミナルモデル）が実験に基づくシステム同定によって作成され、前記補償手段が該数学モデル（ノミナルモデル）から設計され、前記外乱推定手段が該数学モデル（ノミナルモデル）に対し外乱の考慮された数学モデル（拡大モデル）からなる拡大された状態方程式（拡大系）より作成されたことを特徴とする。

#### 【 0 0 3 0 】

システム同定技術を利用して、システムのノミナルモデルを作成する。そして、外乱推定手段は、この数学モデル（ノミナルモデル）に対し、外乱の考慮された数学モデル（拡大モデル）からなる拡大された状態方程式（拡大系）より作成する。

#### 【 0 0 3 1 】

外乱推定手段で推定された外乱を補償手段の出力である制御信号に減算することで、制御対象に対する外乱を相殺出来る。このため、物性値の変化等により生ずるパラメータ変動に対し不感なシステム制御系が、単純な構造の固定の補償器

で実現できる。

【0032】

また、本発明は、圧縮室内容積を変更可能な容量変更手段を有する可変容量型気体圧縮機と、該容量変更手段に入力される入力信号と、室内空気温度、蒸発器出口空気温度、冷媒流量、気体圧縮機吸入側冷媒圧力等の内のいずれか少なくとも一つの情報が検出された検出信号と、該検出信号及び前記入力信号を基に前記可変容量型気体圧縮機の外乱を推定する外乱推定手段と、前記検出信号を補償し制御信号を出力する補償手段と、該制御信号に対し前記外乱推定手段で推定された外乱を減算し、減算結果を前記入力信号とする演算手段とを備えて構成した。

【0033】

外乱は、例えば蒸発器に送風するファンの変動、エンジンより駆動される可変容量型気体圧縮機の回転数の変動等である。熱負荷変動により、空気と冷媒の物性値が変化したり、回転数の変動により冷媒流量が変化することで生じるパラメータ変動に不感な冷凍空調システム制御系が、単純な構造の固定の補償手段で実現できる。

【0034】

更に、本発明は、外乱推定型制御システムの設計方法であり、制御対象と、該制御対象に入力される入力信号及び該制御対象より検出された検出信号を基に前記制御対象の入力に加算される外乱を推定する外乱推定手段と、前記検出信号を補償し制御信号を出力する補償手段と、該制御信号に対し前記外乱推定手段で推定された外乱を減算し、減算結果を前記入力信号とする演算手段とを備えた外乱推定型制御システムを設計する方法であって、システム同定によって、状態方程式または伝達関数からなる前記制御対象の数学モデル（ノミナルモデル）を作成し、該数学モデルと外乱の数学モデルとからなる拡大された状態方程式（拡大系）を作成し、該状態方程式（拡大系）より前記外乱推定手段を設計し、前記数学モデル（ノミナルモデル）から前記補償手段を設計することを特徴とする。

【0035】

更に、本発明は、前記状態方程式（拡大系）が可観測か否かを判定し、不可観測と判定されるとき、該状態方程式（拡大系）のA行列及び／又はC行列又は伝

達関数分子の0次項に当たる係数に、強制的に10%以下の誤差を加え、該誤差を含む拡大系を作成することによって可観測を成立させることを特徴とする。

【0036】

このことにより、状態方程式（拡大系）が不可観測の場合にも外乱推定手段及び補償手段を設計可能である。

【0037】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について説明する。

本発明は、ロボット、工作機械等のメカニカルシステムで有効性が確認されている外乱オブザーバ（大西公平、大石潔、宮地邦夫：「状態観測器を用いた他励直流機の制御法」，電気学会論文誌 B104-6, pp.373-379, 1984参照）を冷凍空調システムの容量制御に応用するものである。

【0038】

その特長は、固定ゲインの補償器であり、しかも低次元の単純な補償器であるにも関わらず、変動に対して不感なことである。但し、ただ別の応用分野の技術を持ち込んで転用しようとしても、冷凍空調システムは複雑で非線形性が強いことから、外乱オブザーバ設計の前提となるノミナルモデルさえも容易には作れない。つまり、モータに対して用いられてきた外乱オブザーバ技術をそのままでは転用ができない。

【0039】

そこでシステム同定技術を利用して、冷凍空調システムのノミナルモデルを作成し、ノミナルモデルと新たに仮定する外乱とから構成される拡大系を構成し、その拡大系がオブザーバの構成条件である可観測性を満たす条件を確認した上で、新たな外乱オブザーバを設計し、実機への搭載を可能にするものである。

【0040】

ちなみに、ノミナルとは、「名目上の」と言った意味で、実際のシステムは変化をするために、その数式モデルに留まらないことを踏まえている。ここでは、ある平均的な一条件で求めたモデルを意味するものとする。

【0041】

まず、ノミナルモデルの取得方法について説明する。

冷凍空調システムがシステム同定等の手段により、数1、数2のようにモデル化されたものとする。

【0042】

【数1】

$$\dot{x}_{pn} = A_{pn}x_{pn} + B_{pn}u$$

【0043】

【数2】

$$y = C_{pn}x_{pn}$$

【0044】

但し、 $x_{pn}$  ( $n_{pn} \times 1$ )、 $u$  ( $1 \times 1$ )、 $y$  ( $1 \times n_{pn}$ )、 $A_{pn}$  ( $n_{pn} \times n_{pn}$ )、 $B_{pn}$  ( $n_{pn} \times 1$ )、 $C_{pn}$  ( $1 \times n_{pn}$ )の実ベクトルまたは実行列とする。

このとき、入力 $u$ は可変容量型気体圧縮機の容量を変化させるためのアクチュエータの駆動入力信号であって、電圧である場合が多いが、制御用コンピュータシステム内部における同じ役割を果たす変数データ等でも良い。

【0045】

また、出力 $y$ は制御しようとしている部位の空気温度の検出値であって、電圧の形態で観測することが多いが、やはり制御用コンピュータ内に取りこんだ同温度に対応する変数データであっても良い。

【0046】

いずれにせよ、上記モデルはある特定の条件下におけるモデルであって、物理的なパラメータ変動や外乱を含まない。これをノミナルモデルと呼ぶことにする。

【0047】

次に、システム同定の方法について説明する。

システム同定そのものは、従来からあるモデリング理論及び技術である（例えば、足立修一：MATLABによる制御のためのシステム同定、東京電機大学出版局、1996を参照）。予測誤差法、最尤推定法、最小自乗法、部分空間同定法などが知られており、いずれの手法を用いても良いが、最終的に状態方程式の形式で表現

するものとする。

【0048】

また、同定されたモデルは入出力を用いた実験からも求められたモデルであるから、可制御・可観測である（例えば、小郷、美多：システム制御理論入門、実教出版、1979を参照）。逆に、実システムに不可制御・不可観測な部分があったとしても、その部分は無視されてモデル化されていることになる。

【0049】

可制御の必要十分条件は、1出力系の場合、次の数3の可制御行列 $U_{Cpn}$  ( $n_p \times n_{pn}$ )のランクが $n_{pn}$ である。

【0050】

【数3】

$$U_{Cpn} = [B_{pn}, A_{pn}B_{pn}, A_{pn}^2B_{pn}, \dots, A_{pn}^{n_{pn}-1}B_{pn}]$$

【0051】

とすると、 $\text{rank}(U_{Cpn}) = n_{pn}$  つまり、

【0052】

【数4】

$$\det(U_{Cpn}) \neq 0$$

【0053】

可観測の必要十分条件は1出力系の場合、次の数5の可観測行列 $U_{Opn}$  ( $n_{pn} \times n_{pn}$ )のランクが $n_{pn}$ である。

【0054】

【数5】

$$U_{Opn} = [C_{pn}, C_{pn}A_{pn}, C_{pn}A_{pn}^2, \dots, C_{pn}A_{pn}^{n_{pn}-1}]^T$$

【0055】

とすると、 $\text{rank}(U_{Opn}) = n_{pn}$  つまり、

【0056】

【数6】

$$\det(U_{Opn}) \neq 0$$

【0057】

が成り立っているものとする。

【0058】

次に、外乱を考慮に入れたモデルの作成と可観測性の確認について説明する。

前述のノミナルモデルに対し、外乱を考慮した修正を加える。

パラメータ変動や未知の外部入力をまとめて入力端の外乱 $d$ とみなし、新たな状態量 $x_d = d$ を定義して、状態方程式の拡大系数7、数8を作成する。

【0059】

【数7】

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

【0060】

【数8】

$$y = Cx$$

【0061】

このとき、数9を仮定している。

【0062】

【数9】

$$\dot{x}_d = 0$$

ここに、各要素は

【0063】

【数10】

$$x = \begin{bmatrix} x_p \\ x_d \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} A_p & B_p \\ 0_{1 \times n_p} & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} B_p \\ 0 \end{bmatrix}, C = [C_p \quad 0]$$

【0064】

$A((n_p + 1) \times (n_p + 1)), B((n_p + 1) \times 1), C(1 \times (n_p + 1))$ でシステムの次元は $n = n_p + 1$ となる。

【0065】

図1に、ノミナルモデルと外乱を含めた拡大系のブロック図を示す。数7、数8が可観測であれば、オブザーバを設計できることが知られている。可観測の必要十分条件は、1出力系の場合、次の数11の可観測行列 $U_O (n \times n)$ のランクが $n$

である。

【0066】

【数11】

$$U_o = [C, CA, CA^2, \dots, CA^{n-1}]^T$$

【0067】

つまり、数12が成り立たねばならない。

【0068】

【数12】

$$\det(U_o) \neq 0$$

【0069】

本システムの場合、数13より、可観測行列は、数14となる。

【0070】

【数13】

$$CA = \begin{bmatrix} C_{pn} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{pn} & B_{pn} \\ 0_{1 \times n_{pn}} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{pn} A_{pn} & C_{pn} B_{pn} \end{bmatrix}$$

$$CA^2 = \begin{bmatrix} C_{pn} A_{pn} & C_{pn} B_{pn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{pn} & B_{pn} \\ 0_{1 \times n_{pn}} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{pn} A_{pn}^2 & C_{pn} A_{pn} B_{pn} \end{bmatrix}$$

$$CA^3 = \begin{bmatrix} C_{pn} A_{pn}^2 & C_{pn} A_{pn} B_{pn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{pn} & B_{pn} \\ 0_{1 \times n_{pn}} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{pn} A_{pn}^3 & C_{pn} A_{pn}^2 B_{pn} \end{bmatrix}$$

...

$$CA^{n-2} = \begin{bmatrix} C_{pn} A_{pn}^{n-3} & C_{pn} A_{pn}^{n-4} B_{pn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{pn} & B_{pn} \\ 0_{1 \times n_{pn}} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{pn} A_{pn}^{n-2} & C_{pn} A_{pn}^{n-3} B_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{pn} A_{pn}^{n-1} & C_{pn} A_{pn}^{n-2} B_{pn} \end{bmatrix}$$

$$CA^{n-1} = \begin{bmatrix} C_{pn} A_{pn}^{n-2} & C_{pn} A_{pn}^{n-3} B_{pn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{pn} & B_{pn} \\ 0_{1 \times n_{pn}} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{pn} A_{pn}^{n-1} & C_{pn} A_{pn}^{n-2} B_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{pn} A_{pn}^{n-1} & C_{pn} A_{pn}^{n-1} B_{pn} \end{bmatrix}$$

【0071】



【数 1 4】

$$U_o = \begin{bmatrix} C_{pn} & 0 \\ C_{pn}A_{pn} & C_{pn}B_{pn} \\ \vdots & \vdots \\ C_{pn}A_{pn}^{n_{pn}-1} & C_{pn}A_{pn}^{n_{pn}-2}B_{pn} \\ C_{pn}A_{pn}^{n_{pn}} & C_{pn}A_{pn}^{n_{pn}-1}B_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{Opn}(n_{pn} \times n_{pn}) & Y \\ C_{pn}A_{pn}^{n_{pn}} & C_{pn}A_{pn}^{n_{pn}-1}B_{pn} \end{bmatrix}$$

where  $Y = [0, C_{pn}B_{pn}, \dots, C_{pn}A_{pn}^{n_{pn}-2}B_{pn}]^T$

【0 0 7 2】

このとき、公式である数 1 5（小郷、美多：システム制御理論入門、実教出版、1979を参照）を利用すると、数 4 より、数 1 2 の行列式は、数 1 6 ように表せる。

【0 0 7 3】

【数 1 5】

$$\det \begin{bmatrix} X & Y \\ Z & W \end{bmatrix} = \det(X) \cdot \det(W - ZX^{-1}Y) \text{ for } \det(X) \neq 0$$

【0 0 7 4】

【数 1 6】

$$\det(U_o) = \det(U_{Opn}) \cdot \det(C_{pn}A_{pn}^{n_{pn}-1}B_{pn} - C_{pn}A_{pn}^{n_{pn}} \cdot U_{Opn}^{-1} \cdot Y)$$

【0 0 7 5】

この値が 0 でなければ、可観測なので、オブザーバを設計できる。

【0 0 7 6】

次に、拡大系の極と可制御性について説明する。

拡大系を作ることによって増えた極について確認しておく。行列式に関する公式（小郷、美多：システム制御理論入門、実教出版、1979を参照）

【0 0 7 7】

【数 1 7】

$$\det \begin{bmatrix} X & Y \\ 0 & W \end{bmatrix} = \det(X) \cdot \det(W)$$

【0 0 7 8】

を用いると、数 7 より、拡大系の極が、

【 0 0 7 9 】

【数 1 8】

$$\det(sI - A) = \det \begin{bmatrix} sI_{p_m} - A_{p_m} & -B_{p_m} \\ 0_{l \times p_m} & s \end{bmatrix} = \det(sI_{p_m} - A_{p_m}) \cdot \det(s) = \det(sI_{p_m} - A_{p_m}) \cdot s = 0$$

【 0 0 8 0 】

が成り立つ  $s$  であることから、もともとのノミナルモデルの極と原点とからなることがわかる。

【 0 0 8 1 】

1 入力 1 出力系の場合、現代制御理論における不変零点と古典制御理論における零点(=伝達零点)は一致し、不可制御または不可観測は、極と零点とが一致することによって生じる(小郷、美多: システム制御理論入門、実教出版、1979を参照)。

【 0 0 8 2 】

さて、この拡大系は不可制御であることが、可制御性行列を調べるまでもなくわかる。なぜならば、外乱は物理的には入力の一つであるにも関わらず、作為的に状態量の一つとして扱っており、図 1 の上側のブロック図からもわかるように、制御入力により、その原点極を変更できないためである。

【 0 0 8 3 】

確認してみると、可制御性の必要十分条件は、1 出力系の場合、数 1 9 の可制御行列  $U_C$  ( $n \times n$ ) のランクが  $n$  である。

【 0 0 8 4 】

【数 1 9】

$$U_C = [B, AB, A^2B, \dots, A^{n-1}B]$$

【 0 0 8 5 】

つまり、数 2 0 が成りたたねばならない。

【 0 0 8 6 】

【数 2 0】

$$\det(U_C) \neq 0$$

【 0 0 8 7 】

数 20 を展開すると、数 17 を利用して、

【0088】

【数 21】

$$\det(U_c) = \det \begin{bmatrix} B_{pn} & A_{pn} B_{pn} & \cdots & A_{pn}^{n_{pn}-1} B_{pn} & A_{pn}^{n_{pn}} B_{pn} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \det \begin{bmatrix} U_{c_{pn}} & A_{pn}^{n_{pn}} B_{pn} \\ 0_{1 \times n_{pn}} & 0 \end{bmatrix} = \det(U_{c_{pn}}) \cdot 0 = 0$$

【0089】

従って不可制御である。数 18 において、拡大系の極がノミナル系の極と原点とから成り、しかもノミナル系が可制御であることから、不可制御をもたらす極、すなわち、不可制御極は原点 0 のみである。

【0090】

補足しておく、拡大系はオブザーバを設計する道具としてのみ使い、補償器設計には用いないので、この拡大系数 7、数 8 は不可制御でもかまわない。

【0091】

次に、可観測性の条件について説明する。

不可制御な極が同時に不可観測な極となる場合もあるので、可観測性の評価は必要である。

【0092】

(ケース1)

ある正の整数  $q$  があって、

【0093】

【数 22】

$$C_{pn} B_{pn} = C_{pn} A_{pn} B_{pn} = \cdots = C_{pn} A_{pn}^{q-2} B_{pn} = 0, C_{pn} A_{pn}^{q-1} B_{pn} \neq 0, q \leq n_{pn}$$

【0094】

が成り立つとする。1入力1出力系では、 $r = n_{pn} - q$  は零点の数を表すことが知られている（古田、川路、美多、原：メカニカルシステム制御、オーム社、1984）。

【0095】

ノミナルモデルにおいて、たまたま、 $r = n_{pn} - q = 0$  であれば、ノミナルモデル自身に零点はなく、Y 行列が 0 行列になるので、拡大系に対して、以下の公式

数 23 が使えて (小郷、美多：システム制御理論入門、実教出版、1979を参照)

【0096】

【数 23】

$$\det \begin{bmatrix} X & 0 \\ Z & W \end{bmatrix} = \det(X) \cdot \det(W)$$

【0097】

数 6、数 22、数 23 より、

【0098】

【数 24】

$$\det(U_o) = \det(U_{o_{pm}}) \cdot \det(C_{pm} A_{pm}^{n_{pm}-1} B_{pm}) \neq 0$$

【0099】

となり、拡大系数 7、数 8 は可観測となる。

【0100】

(ケース2)

$r = n_p - q > 0$ 、すなわち、ノミナルモデル自身に1つ以上の零点がある場合は、原点極が不可観測極となっていないか確認する必要がある、数 16 を直接に調べるしかない。

【0101】

次に、外乱オブザーバの設計方法について説明する。

拡大系数 7、数 8 を用いてオブザーバを設計する。

(同一次元外乱オブザーバの設計)

【0102】

【数 25】

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu - K(C\hat{x} - y) = (A - KC)\hat{x} + Bu + Ky$$

$$\text{where } \hat{x} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{pm} \\ \hat{x}_d \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} A_{pm} & B_{pm} \\ 0_{1 \times n_{pm}} & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} B_{pm} \\ 0 \end{bmatrix}, C = [C_{pm} \quad 0], K = \begin{bmatrix} k_{pm} \\ k_d \end{bmatrix}$$

$$\hat{x} \in R^{n \times 1}, A \in R^{n \times n}, B \in R^{n \times 1}, C \in R^{1 \times n}, K \in R^{n \times 1}, k_{pm} \in R^{n_{pm} \times 1}, n = n_{pm} + 1$$

## 【0103】

であり、 $K$ は数25の $A-KC$ 行列の全ての固有値の実部が負になるように選ぶ。  
図2に制御対象モデルとオブザーバのブロック図を示す。図2において、入力 $u$ は例えば容量制御指令値であり、出力 $y$ は蒸発器51出口の検出温度である。

## 【0104】

(最小次元オブザーバの設計)

同オブザーバの設計に関し、ゴピナス (Gopinath) の正準形式と呼ばれる設計法を用いても良い。

## 【0105】

(ディジタル形式のオブザーバ)

拡大系数7、数8を0次ホールドを前提として離散化し、ディジタル形式の同一次元オブザーバ、あるいは最小次元オブザーバとして設計しても良い。

## 【0106】

次に、制御系への利用について説明する。

図3に制御系のブロック図を示す。制御対象101には外乱103が加わっている。入力信号105 (例えば容量制御指令値) と出力信号107 (例えば蒸発器51出口の検出温度) がオブザーバ109に inputs され、外乱が推定される。

## 【0107】

出力信号107は、目標値111との間で減算器113により偏差が算出される。この偏差は、補償器115で状態フィードバック、1型のサーボ系、PID制御等の補償が行われ、制御信号として出力される。この制御信号は、減算器117でオブザーバ109からの外乱推定値との間で減算される。

## 【0108】

従って、オブザーバの推定値のうち、外乱推定値は実外乱をキャンセルするようにフィードバックされることになる。また、他の状態推定値を用いて、状態フィードバック、1型のサーボ系、PID制御等の補償が行われる。

## 【0109】

次に、不可観測時の対策について説明する。

まず、上記説明を開発手順としてまとめると図4のようになる。図4の開発フ

ローにおいて、ステップ31で、システム同定技術を利用して、冷凍空調システムのノミナルモデルを作成する。ステップ33で、ノミナルモデルと新たに仮定する外乱とから構成される拡大系を構成する。

#### 【0110】

次に、ステップ35で、その拡大系がオブザーバの構成条件である可観測性を満たすか否か判断する。可観測性を満たす場合は、ステップ37で、新たな外乱オブザーバを設計する。ステップ39で、この外乱オブザーバと補償器を組み合わせ、ステップ41で実機への搭載を行う。

#### 【0111】

ステップ35で、可観測性を満たさない場合は、同定モデルに故意に偏差を付加することにより、不可観測を回避する。方法として、小さな値の定数項を付加して、零点をずらす。

#### 【0112】

以上により、熱負荷変動により、空気と冷媒の物性値が変化したり、回転速度変化により冷媒流量が変化することで生じるパラメータ変動に不感な冷凍空調システム制御系が、単純な構造の固定の補償器で実現できる。

なお、参考までにシステム同定の具体的手法について説明する。

#### 【0113】

システム同定(System Identification)とは、対象とする動的システムの入出力データの測定値から、ある「目的」の下で、対象と「同一である」ことを証明できる、何らかの「数学モデル」を作成することを言う。本発明で行おうとするシステム同定は、「制御を目的としたシステム同定」であり、いくつかの手法が確立されている。

#### 【0114】

システム同定の手順としては、図5のフローに従う。ステップ51で、M系列データを作成する。次に、ステップ53でコントローラへの実装を行い、ステップ55で測定を行いデータを保存する。ステップ57で、同定プログラムを作成し、ステップ59で同定の実行をする。具体的には $A_{pn}$ ,  $B_{pn}$ ,  $C_{pn}$ を求める。

## 【0115】

そして、ステップ61で、求めた $A_{pn}$ ,  $B_{pn}$ ,  $C_{pn}$ について評価する。評価結果が気に入らなければ、また同定プログラムを修正して、再度同定作業を実行し、再び、評価を行う。また、環境条件が大きく変わる制御対象に対しては、M系列データの振幅や周期、長さをいろいろと変えて繰り返し同定することも必要となる。次に、M系列データの作成について説明する。

## 【0116】

システム同定には、擬似白色2値信号(PRBS: Psedo Random Binary Signal)を制御対象に入力し、出力を観測するが、その入力の中で最もよく利用される信号がM系列信号(Maximum-length linear shift resister sequence)である。例を図6に示す。

## 【0117】

次に、実際に冷凍システム制御に用いる場合のM系列信号の仕様を考える。図7に、冷凍システム制御に用いたM系列データの例を示す。図7は、0~10を容量可変機構30の駆動電流0~最大電流に対応する指令電圧としたデータ列であり、熱負荷を中負荷、可変容量型気体圧縮機10の回転速度を800rpmとしたときの平均指令値7.85を平均値として、上下に振幅2だけ振れさせたM系列信号である。

## 【0118】

平均値は熱負荷と可変容量型気体圧縮機10の回転速度が規定された条件で、目標温度に空気温度が一致するときの入力の平衡点を用いる。振幅は非線形性の評価次第であるから試行錯誤的に大小を試みる。但し、0未満や、10の超過は飽和の発生となるから不可であるため、飽和を避けるように平均値をずらす。

## 【0119】

図8は、5種類の環境条件における平衡点での容量比(=Duty2)と回転速度の関係を示したものである。

温度制御系においては、この値を回転速度に対応するフィードフォワード値として用いても良い。

## 【0120】

ちなみに、上記のM系列で用いている0～10がこの0～1に対応する。そこで、例えば、①の環境条件で回転速度800rpm運転時の値は約0.7であるので、10倍の7を平均値に用いれば良い。この他、取りあえず温度制御ができているときは、制御時の平衡点を使っても良い。

#### 【0 1 2 1】

次に、コントローラへの実装と実行について説明する。

M系列信号をコントローラが電圧として出力する。そして、このM系列信号が制御対象である可変容量型気体圧縮機10の容量可変機構30に制御入力として与えられる。結果としての蒸発器出口空気温度を電圧の形で検出して、コントローラに取りこむ。

#### 【0 1 2 2】

制御ベンチを用いた同定実験における入出力結果を図9に示す。一方、図10のように入出力の平均値を除去する。つまり平均は0になる。この結果を基に、システム同定計算を行い、状態方程式のA,B,C行列を得る。

#### 【0 1 2 3】

次に、評価結果として、図11に示すように、実際の出力と、同定モデルへの同じM系列信号入力を与えた際の出力とを比較することにより、得られた数学モデルの妥当性が確認できる。

#### 【0 1 2 4】

参考文献としては、

- 1)L.Ljung: System Identification Tool box User's Guide, Math Works(足立修一 監訳)
  - 2)足立修一: MATLABによる制御のためのシステム同定、東京電機大学出版局、1996
  - 3)和田清: 解説「部分空間同定法って何?」、計測と制御36-8、PP.569-674、1997
- がある。

#### 【0 1 2 5】

#### 【発明の効果】



以上説明したように本発明によれば、物性値の変化等により生ずるパラメータ変動に対し不感なシステム制御系が、単純な構造の固定の補償器で実現できる。

【図面の簡単な説明】

- 【図 1】 ノミナルモデルと外乱を含めた拡大系のブロック図
- 【図 2】 制御対象モデルとオブザーバのブロック図
- 【図 3】 制御系のブロック図
- 【図 4】 開発フロー
- 【図 5】 システム同定の手順
- 【図 6】 M 系列信号の例
- 【図 7】 冷凍システム制御に用いた M 系列データの例
- 【図 8】 環境条件に対応する回転速度と平衡点での容量比の関係
- 【図 9】 入出力データの例
- 【図 1 0】 デトレンドされた入出力の例
- 【図 1 1】 評価結果の例
- 【図 1 2】 空調システムの全体簡略構成図
- 【図 1 3】 可変容量型気体圧縮機の断面図
- 【図 1 4】 図 1 3 中の A - A 矢視線断面図
- 【図 1 5】 容量可変機構の一構成例
- 【図 1 6】 容量制御指令値（デューティ比）
- 【図 1 7】 フローチャート

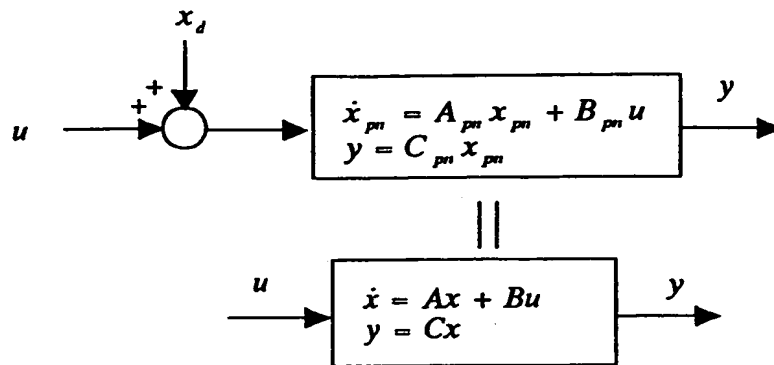
【符号の説明】

- 1 0 可変容量型気体圧縮機
- 3 0 容量可変機構
- 3 7 制御弁
- 5 1 蒸発器
- 5 5 温度センサ
- 5 7 回転速度センサ
- 1 0 1 制御対象
- 1 0 3 外乱

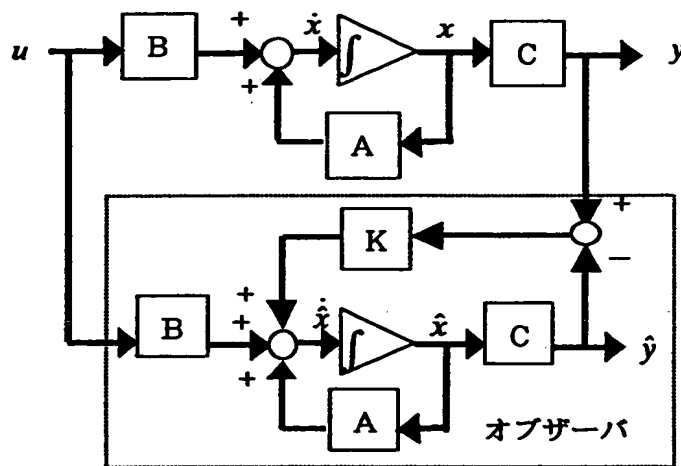
1 0 5 入力信号  
1 0 7 出力信号  
1 0 9 オブザーバ  
1 1 1 目標値  
1 1 3、1 1 7 減算器  
1 1 5 補償器

【書類名】 図面

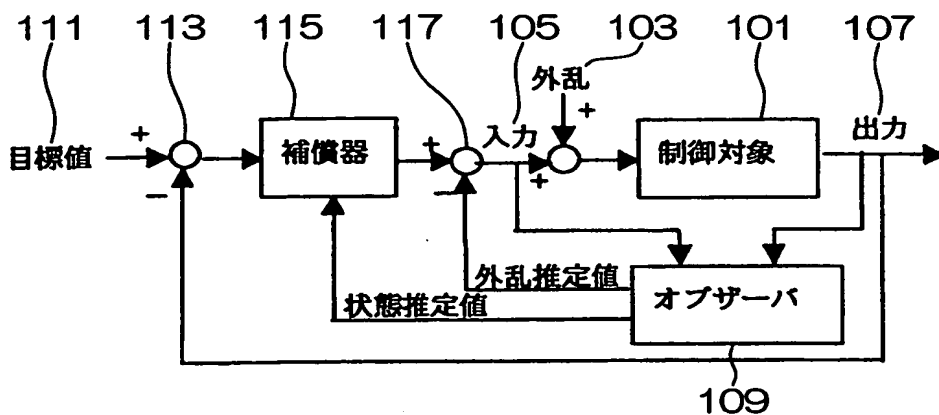
【図 1】



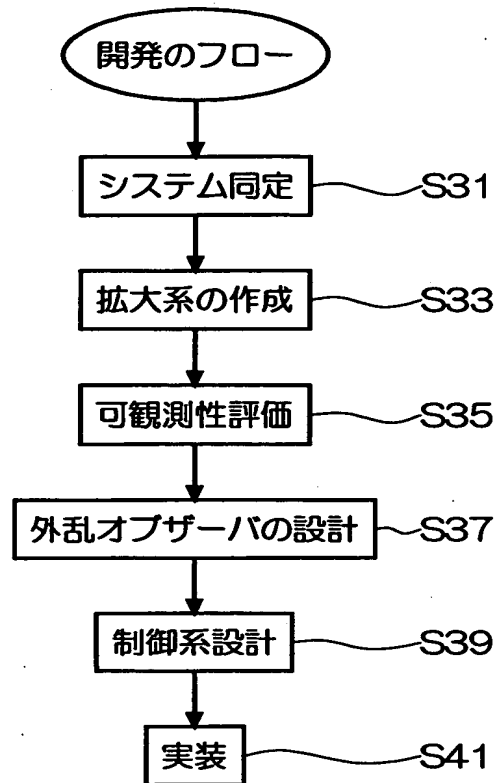
【図 2】



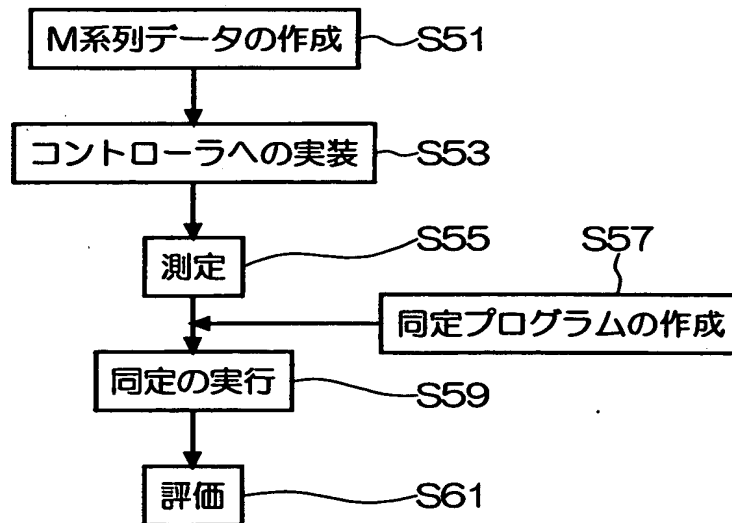
【図 3】



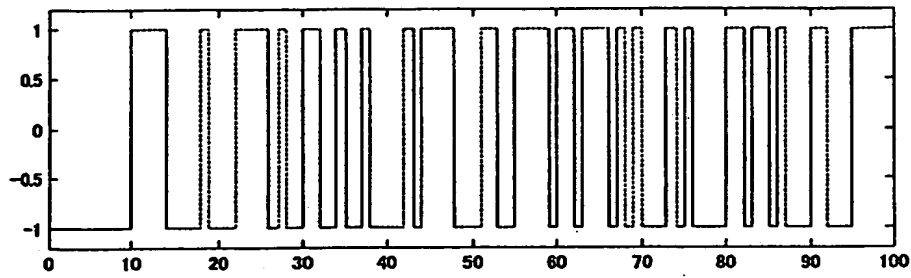
【図 4】



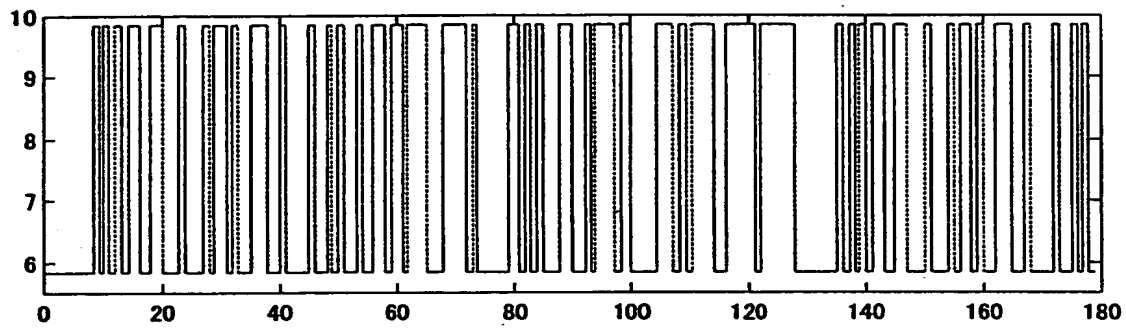
【図 5】



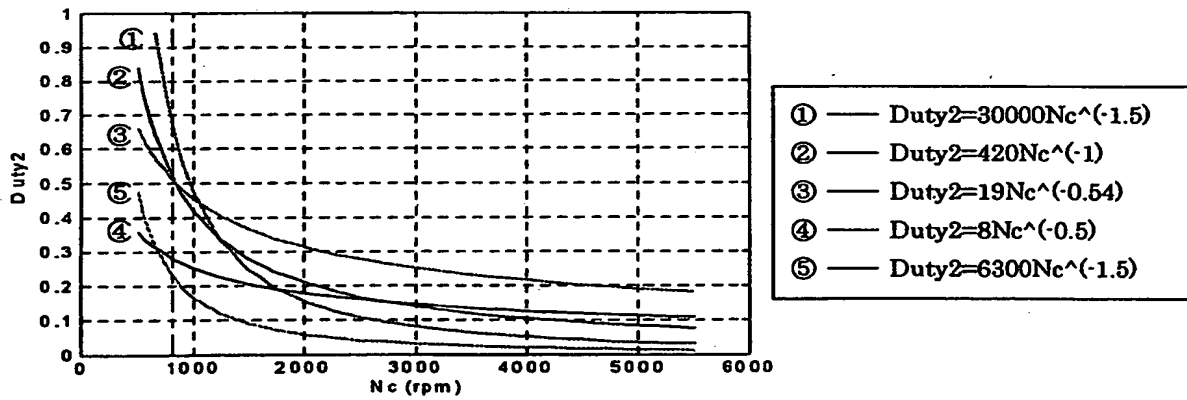
【図 6】



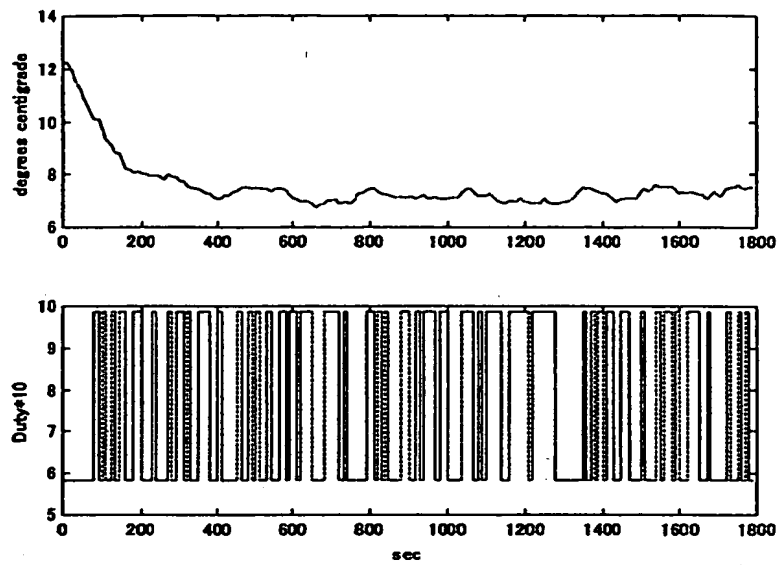
【図 7】



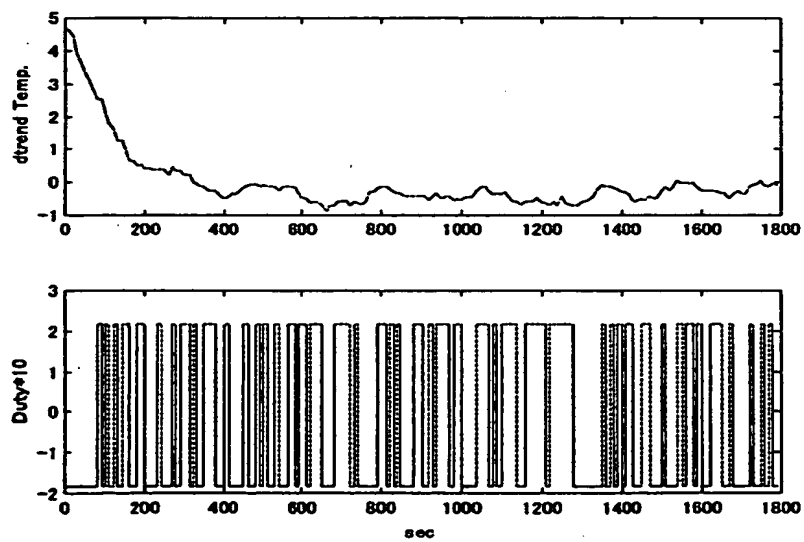
【図 8】



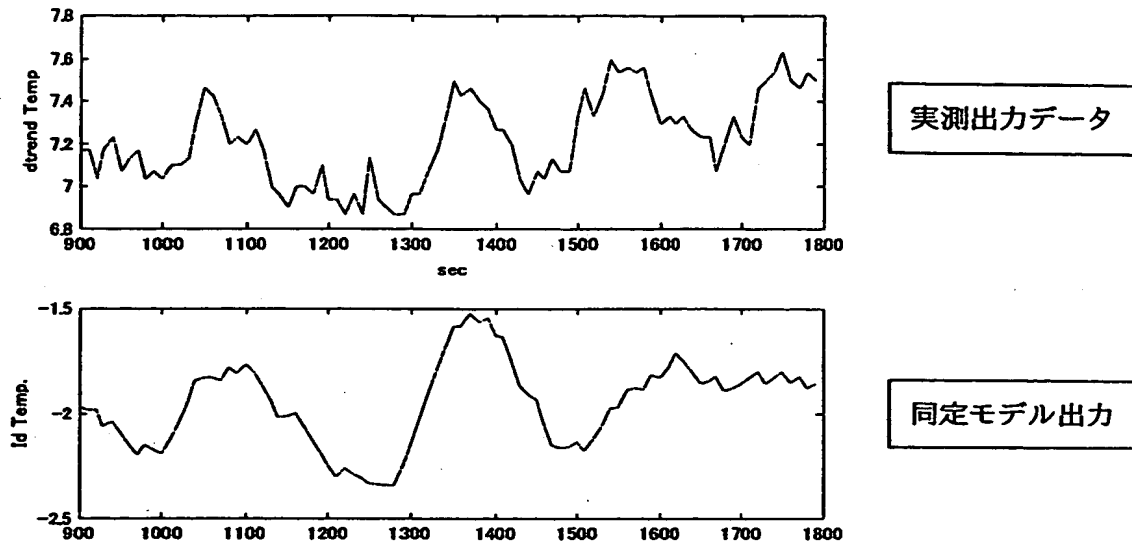
【図 9】



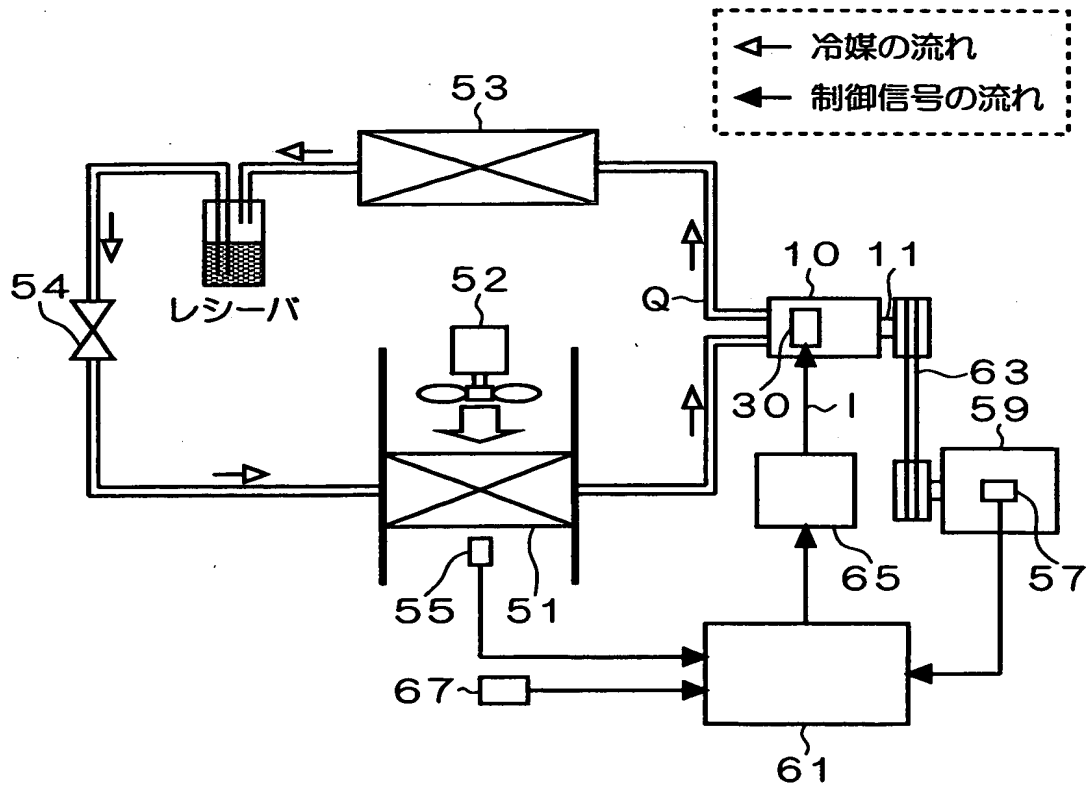
【図 10】



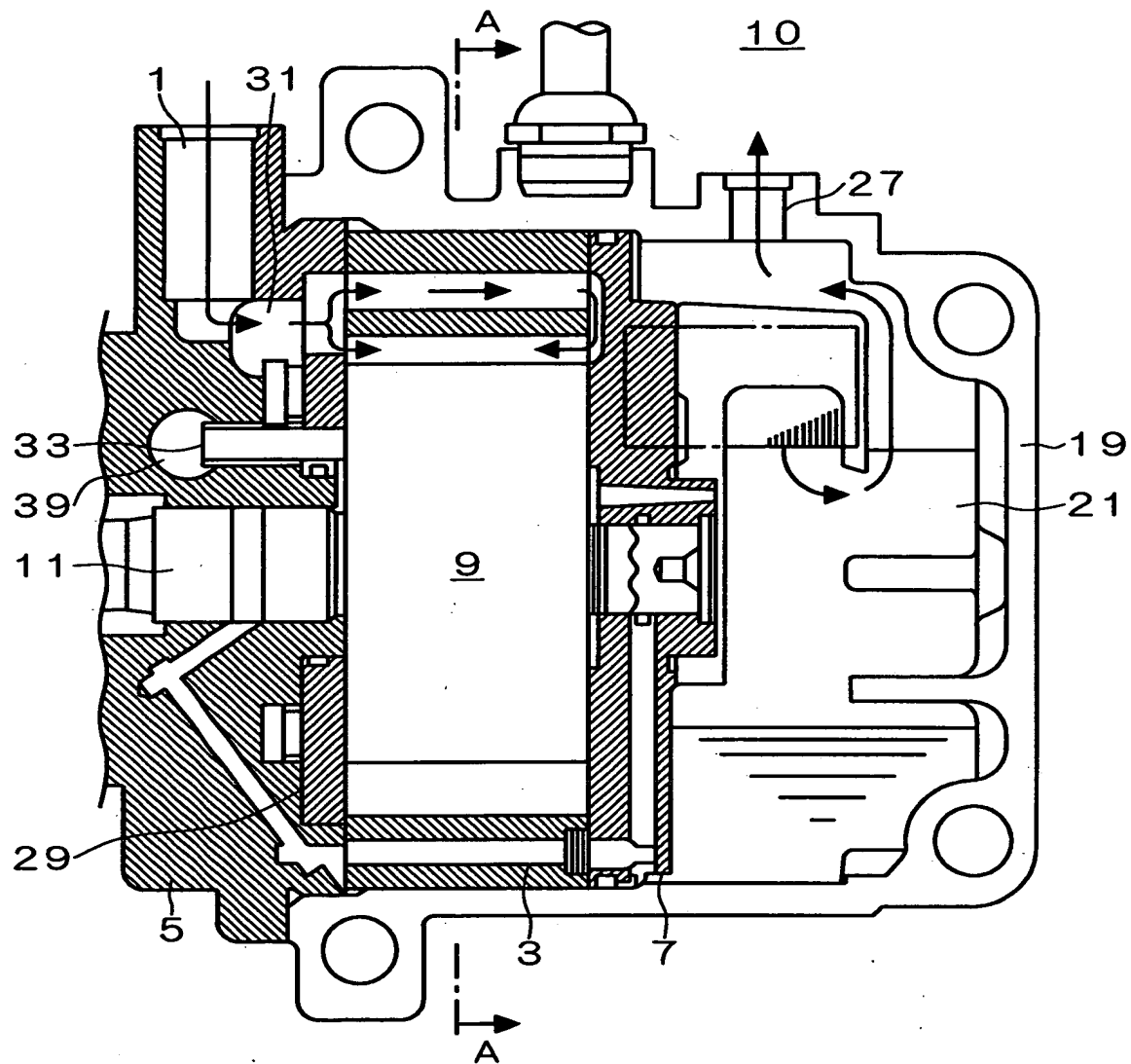
【図11】



【図12】

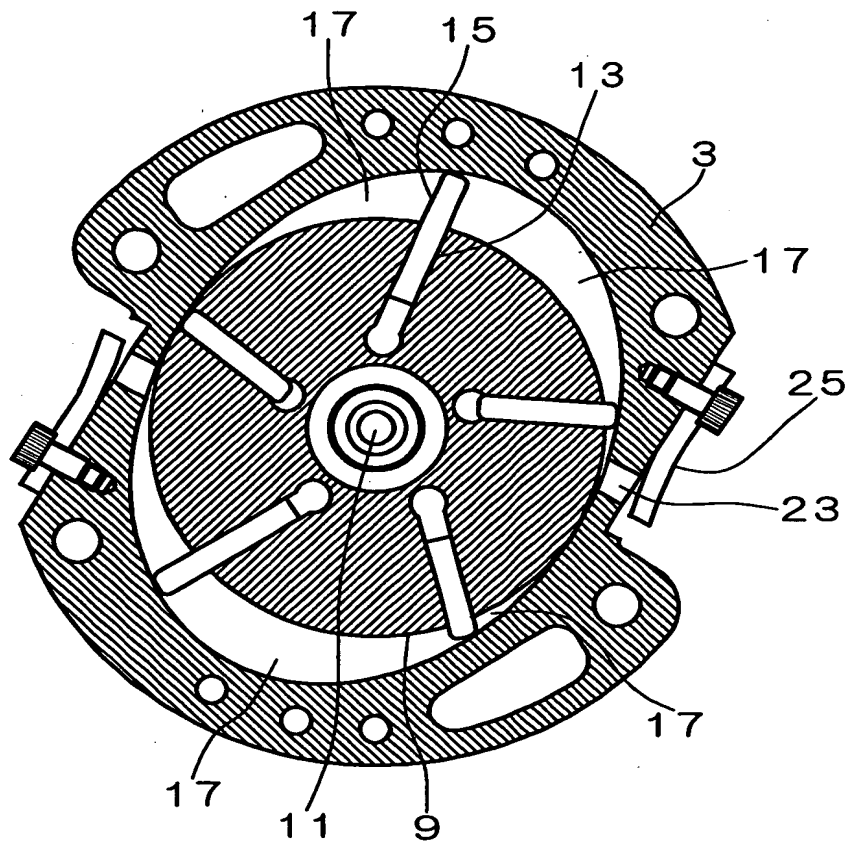


【図 13】

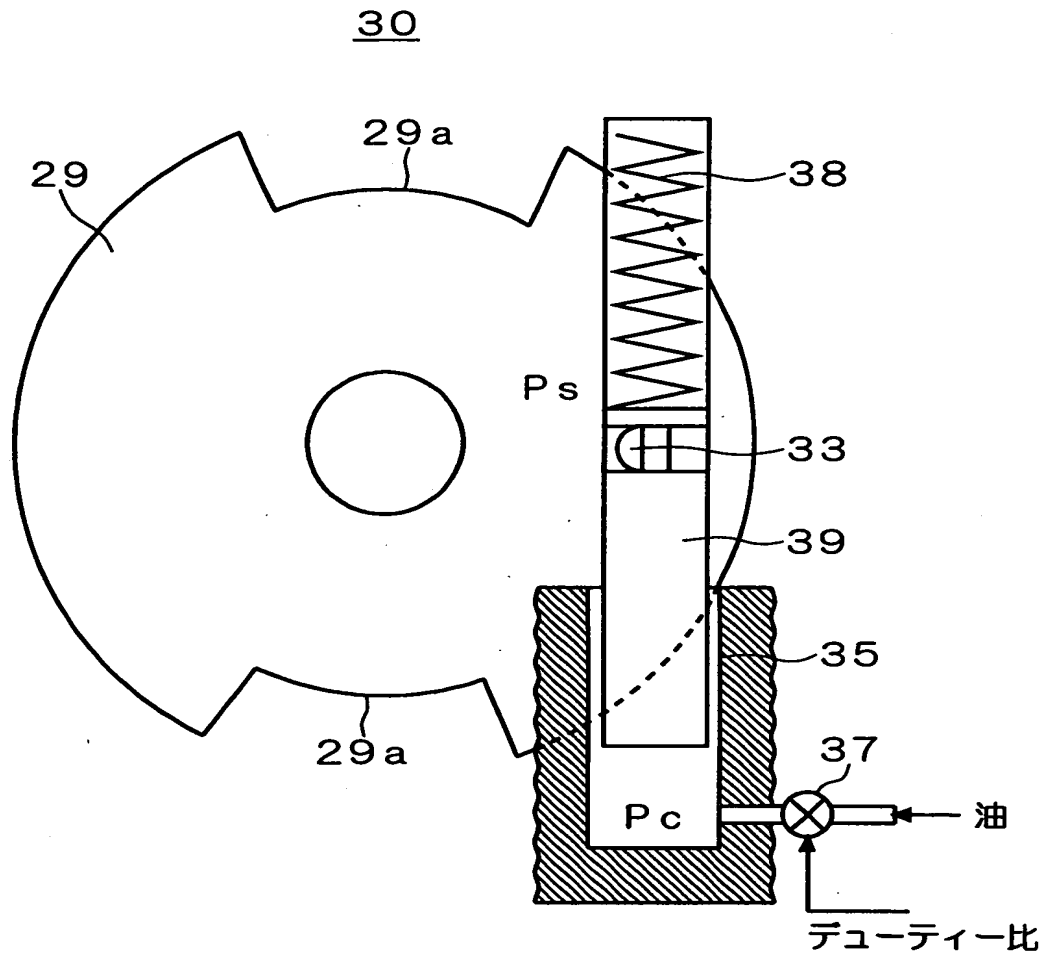




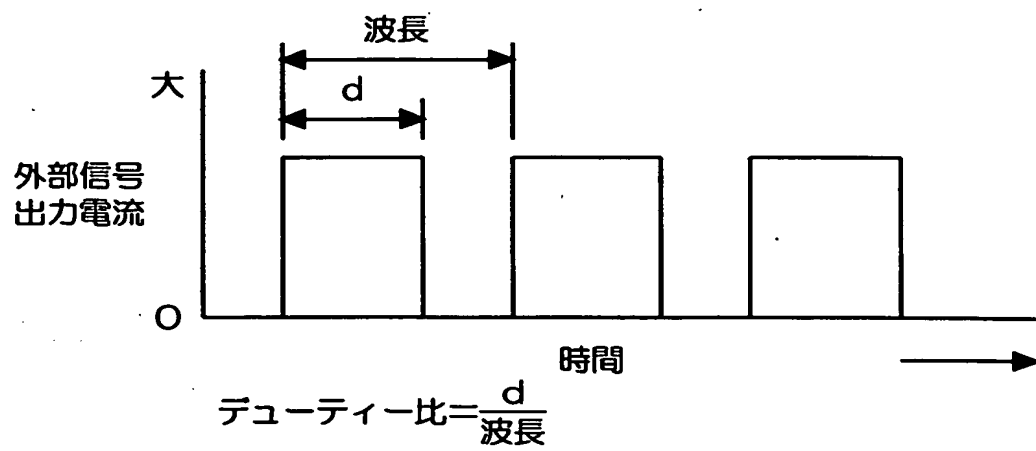
【図 14】



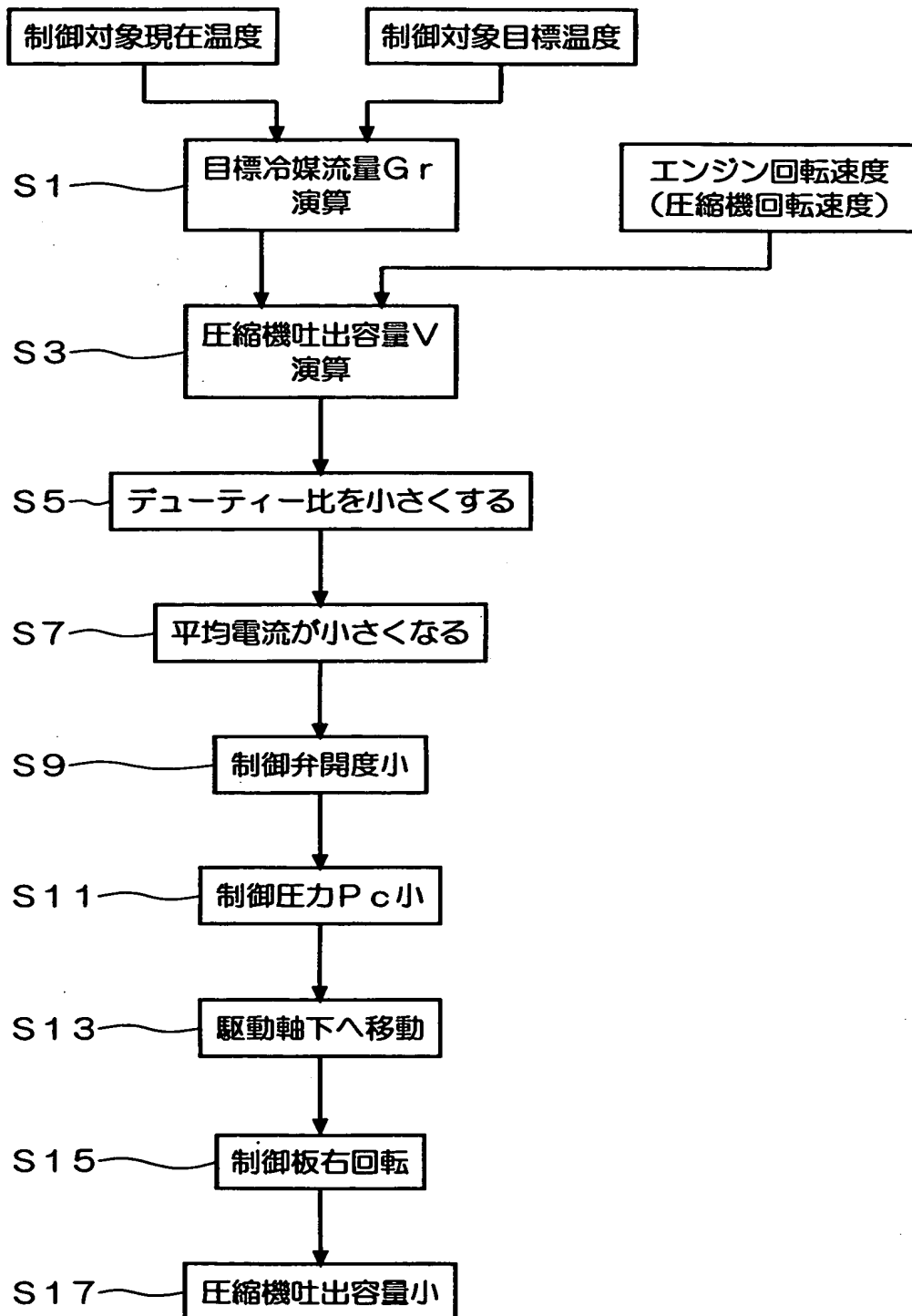
【図15】



【図16】



【図17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 熱負荷変動や回転速度変化等のパラメータ変動に不感な外乱推定型制御システム、気体圧縮機制御システム及び外乱推定型制御システムの設計方法を提供する。

【解決手段】 制御対象 1 0 1 には外乱 1 0 3 が加わっている。入力信号 1 0 5 と出力信号 1 0 7 がオブザーバ 1 0 9 に入力され、外乱が推定される。出力信号 1 0 7 は、目標値 1 1 1 との間で減算器 1 1 3 により偏差が算出される。この偏差は、補償器 1 1 5 で補償が行われ、制御信号として出力される。この制御信号は、減算器 1 1 7 でオブザーバ 1 0 9 からの外乱推定値との間で減算される。従って、オブザーバの推定値のうち、外乱推定値は実外乱をキャンセルするようにフィードバックされることになる。

【選択図】 図 3

【書類名】 出願人名義変更届（一般承継）

【提出日】 平成13年 6月 4日

【あて先】 特許庁長官 殿

【事件の表示】

【出願番号】 特願2000-401397

【承継人】

【識別番号】 000002325

【氏名又は名称】 セイコーインスツルメンツ株式会社

【代表者】 服部 純一

【提出物件の目録】

【物件名】 承継人であることを証明する書面 1

【援用の表示】 平成03年特許願第052686号の出願人名義変更届  
に 添付のものを援用する。

職権訂正履歴（職権訂正）

特許出願の番号	特願2000-401397
受付番号	50100800773
書類名	出願人名義変更届（一般承継）
担当官	伊藤 雅美 2132
作成日	平成13年 7月11日

<訂正内容1>

訂正ドキュメント

書誌

訂正原因

職権による訂正

訂正メモ

「【出願番号】 特願2001-401397」を

「【出願番号】 特願2000-401397」と記録しました。

訂正前内容

【出願番号】 特願2001-401397

訂正後内容

【出願番号】 特願2000-401397

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2000-401397
受付番号	50100800773
書類名	出願人名義変更届（一般承継）
担当官	椎名 美樹子 7070
作成日	平成13年 7月16日

<認定情報・付加情報>

【承継人】	申請人
【識別番号】	000002325
【住所又は居所】	千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地
【氏名又は名称】	セイコーインスツルメンツ株式会社

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000107996]

1. 変更年月日 1990年 8月20日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 千葉県習志野市屋敷4丁目3番1号  
氏 名 セイコー精機株式会社



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002325]

1. 変更年月日 1997年 7月23日

[変更理由] 名称変更

住 所 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地

氏 名 セイコーインスツルメンツ株式会社